



## ELABORATION CURVED IDF STATIONS CÍNERA - VILLA OLGA AND SANTA ISABEL MUNICIPALITY OF CÚCUTA- COLOMBIA

### ELABORACIÓN CURVAS IDF ESTACIONES: CINERA VILLA OLGA Y SANTA ISABEL - MUNICIPIO DE CÚCUTA - COLOMBIA

**M.Sc Julio Isaac Maldonado M\*, Ing. Profesor Asistente  
Ing. Adriana Cristina Martínez G. Ing. Franky F. Matajira S.**

\*Grupo de Investigaciones Ambientales (GIAAS)Universidad de Pamplona - IDEAM -  
Programa de IngenieríaAmbiental, Facultad de Ingenierías y Arquitectura,e-mail:  
[jimaldonadom@unipamplona.edu.co](mailto:jimaldonadom@unipamplona.edu.co)

**Abstract:** According to celebrated agreement 183/03 between The Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies (IDEAM in Spanish) and The University of Pamplona, decided to make practices of student, contributing to the IDEAM traverse of the Technical File and during the second semester of the 2005, the reports of pluviográficas measurements and the Unipamplona selected, evaluated and processed the information by methodologies standardized by the World Organization of Meteorology (OMM), obtaining like end item of these practices, the elaboration of Curves IDF of the stations of Cínera -Villa Olga (N 51° 07' and W 72° 34') and the Station Santa Isabel (N8° 14', W72° 26') located in Cúcuta City, The North of Santander Department - Colombia.

**Resumen:** Mediante convenio No 183/03 celebrado entre el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y la Universidad de Pamplona, acordaron realizar prácticas y pasantías de estudiantiles, aportando el IDEAM través del Archivo Técnico y durante el segundo semestre del 2005, los reportes de mediciones pluviográficas y la Unipamplona seleccionó, evaluó y procesó la información mediante metodologías estandarizadas por la Organización Mundial de Meteorología (OMM), obteniéndose como producto final de estas pasantías, la elaboración de las Curvas IDF de las estaciones de Cínera-Villa Olga (N 51°07' y W 72° 34') y la Estación Santa Isabel (N 8° 14', W72° 26') localizadas en el municipio de Cúcuta, Dpto. de Norte de Santander - Colombia.

**Keywords:** Curvas IDF, Intensidad, Duración, Frecuencia, Precipitación, OMM. Metodologías estandarizada, Estación Cínera -Villa Olga, Estación Santa Isabel.

## 1. INTRODUCCIÓN

Colombia se encuentra entre los 4 países más ricos en oferta hídrica, con 57000 m<sup>3</sup>/hab/año, disponible en un área de solo el 1% de la superficie terrestre, con privilegiada posición y fisiografía que la convierten en un destacado lugar para la generación y prestación de bienes y servicios ambientales a nivel global, de donde surge la importancia para nuestro país de realizar un constante monitoreo y análisis de

la dinámica de los recursos naturales y del comportamiento.

Según el convenio marco especial No 183/03 el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y la Universidad de Pamplona acordaron entre otras, la realización de prácticas y pasantías de estudiantes y mediante acta de Sep/16/05 el comité





coordinador consideró viable la realización de pasantía en el Archivo Técnico del IDEAM de Adriana Cristina Martínez Guevara y Franky Fabián Matajira Sánchez, estudiantes del programa de Ingeniería Ambiental, obteniéndose como producto final la elaboración de las Curvas IDF para dos(2) estaciones de climatológicas ordinarias del IDEAM que como una Institución científica de carácter investigativo aportó la información técnica existente (pluviogramas), procedente de la red Hidrometeorológica, reportadas por la respectiva área operativa y almacenada y clasificadas a través del archivo Técnico, mientras que la Universidad de Pamplona como Institución educativa y fiel a su misión de formar profesionales integrales, seleccionó, evaluó y procesó la información, utilizando metodologías estandarizadas y aprobadas por organismos internacionales (OMM: Organización Mundial de Meteorología) y elaboró las Curvas IDF de las estaciones de Cínera-Villa Olga y Santa Isabel, contribuyendo de esta manera en el desarrollo de tarea institucionales en materia del desarrollo sostenible, económico, social y tecnológico para el país.

El trabajo que se presenta es más que la presentación de unas curvas IDF porque en el se realiza una descripción detallada de la metodología estandarizada desarrollada con fines exclusivamente académicos y dirigido a población estudiantil Universitaria del país.

### **Marcoteórico**

**Curva de Intensidad Duración Frecuencia (IDF):** Se pueden definir como patrones de conducta pluviométricas que registra sobre un área ó región específica y que resultan de unir los puntos más representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración, correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o período de retorno, representando las duraciones en abscisas y las intensidades en las ordenadas.

**Intensidad (I).** Se puede definir como el volumen de precipitación o altura equivalente de precipitación por unidad de tiempo (mm/hora) y se expresa como  $I = P / T_d$  (Ven Te Chow,

1994), donde  $P$  = Lámina de agua lluvia (mm) y  $T_d$  = Duración (horas)

**Duración ( $T_d$ ):** Es el tiempo comprendido entre el comienzo y el final de la precipitación considerado como evento.

**Frecuencia (F):** Se considera como una medida de la probabilidad de ocurrencia de que un evento sea igualado o excedido por lo menos una vez al año, expresada en función del periodo de retorno.

**Periodo de retorno:** Es la probabilidad de que un suceso ocurra por término una vez en un periodo de  $N$  años.

**Probabilidad:** Es la posibilidad de que un evento se efectúe o de que no se realice y se expresan como fracciones o decimales que se encuentran en el rango de cero a uno; donde una probabilidad de cero significa que algo nunca va a suceder, una probabilidad de uno indica que algo va a suceder siempre.

**Pluviograma:** Curvas dos direcciones elaborados por los pluviógrafos que presentan una escala en el eje "x" que indica el tiempo, en divisiones por horas y subdivisiones cada 10 minutos, en el eje "y" se encuentra una escala de 0 a 10 que indica la cantidad de precipitación en mm de cada evento.

**Método Gumbel:** La distribución Gumbel se utiliza para el cálculo de los valores extremos de variables meteorológicas (entre ellas precipitaciones y caudales máximos) y es uno de los métodos más empleados para estudiar precipitaciones máximas de 24 horas.

**Asimetría:** El concepto de asimetría se refiere a si la curva que forman los valores de una serie presenta la misma forma a izquierda y derecha de un valor central (media aritmética) y se determina mediante el coeficiente Fisher de simetría

**Distribución:** Es el grado de concentración alrededor de los valores centrales de la variable, siendo el Coeficiente de Curtosis el que analiza





el grado de concentración que presentan los valores alrededor de la zona central de la distribución, que puede ser mesocúrtica, leptocúrtica y platicúrtica cuando presenta un medio, elevado o reducido grado de concentración alrededor de los valores centrales de la variable respectivamente.

Estación Climatológica Ordinaria (CO): Según el IDEAM en Colombia es aquella en la cual se hacen observaciones de temperatura del aire y precipitación, primordialmente, poseen muy poco instrumental registrador y algunas llevan instrumentos adicionales tales como tanque de evaporación, heliógrafo y anemómetro.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

**Materiales:** Se trabajo con series histórica de precipitación registradas pluviográficamente en las estaciones Climatológicas Ordinarias del IDEAM: Cínera - Villa Olga, Código CO 1602504 (23 años: 1978 a 2000) y Santa Isabel, Código CO 1601504 (18 años, entre: 1973 - 1994, excepto entre 1980 y 1983 porque no se encontraron datos de gran magnitud para ser tratados como eventos extremos posiblemente por la presencia del "Fenómeno del Niño: 1980, 1982 y 1983" y en otras ocasiones por no encontrarse calibrado el pluviógrafo); estaciones localizadas en la cuenca baja del río Pamplonita, en los corregimiento de Buena Esperanza y Agua Clara respectivamente, del municipio de Cúcuta, Departamento Norte de Santander (Col); áreas clasificadas como zona de bosque seco tropical y bosque húmedo tropical, de topografías planas (0 -1%), excepto en pequeñas áreas periféricas donde se encuentran pendientes del 25% y alturas promedio de 100 m.s.n.m.

### Metodología

La elaboración de las Curvas IDF se realizó aplicando la metodología de "Distribución de valores Extremos utilizando Análisis de Frecuencias" propuesta por Gumbel (1958) y aplicada para este caso según Ven Te Chow (1994), desarrollada de la siguiente manera:

#### a) Recopilación de la información

**pluviográfica.** Los registros pluviográficos existentes de las estaciones de las Estaciones Cínera -Villa Olga y Santa Isabel fueron suministradas por el Archivo Técnico del IDEAM..

**b) Selección de eventos máximos de precipitación.** Se realizó una selección cualitativa de todos los registros de precipitaciones en cada estación, mediante un procedimiento visual de los pluviogramas y seguidamente se efectuó una selección cuantitativa, basada en los registros de mayor intensidad, seleccionando en promedio 5 eventos por año y por estación, conformando una serie de 89 registros de la Estación Sta. Isabel para analizar y 103 registros de la estación Cínera - Villa Olga (Tabla 1), aclarando que se manejó un número alto de registros por año para reducir en cierto grado el sesgo producido por una serie de menor tamaño y la selección se realizó apoyados en la experiencia y conocimiento que los funcionarios del IDEAM tienen del régimen de precipitaciones de la zona en estudio, seleccionando los eventos de los meses más lluviosos e incluso de algunos eventos registrados en meses de verano.

Tabla1: Eventos máximo anuales seleccionados

| AÑO  | EST. CINERA | EST. STA ISABEL | AÑO  | EST. CINERA | EST. STA ISABEL |
|------|-------------|-----------------|------|-------------|-----------------|
| 1973 | -           | 6               | 1987 | 6           | 5               |
| 1974 | -           | 5               | 1988 | 5           | 5               |
| 1975 | -           | 6               | 1989 | 4           | 5               |
| 1976 | -           | 5               | 1990 | 4           | 5               |
| 1977 | -           | 5               | 1991 | 5           | 5               |
| 1978 | 5           | 4               | 1992 | 4           | 5               |
| 1979 | 5           | 4               | 1993 | 3           | 5               |
| 1980 | 5           | *(NRD)          | 1994 | 4           | 2               |
| 1981 | 4           | *(NRD)          | 1995 | 5           | -               |
| 1982 | 5           | *(NRD)          | 1996 | 4           | -               |
| 1983 | 5           | *(NRD)          | 1997 | 5           | -               |
| 1984 | 5           | 5               | 1998 | 5           | -               |
| 1985 | 5           | 6               | 1999 | 3           | -               |
| 1986 | 2           | 6               | 2000 | 5           | -               |

\*NRD = No se registraron datos

#### c) Análisis de los eventos máximos de precipitación en intervalos de 10 minutos

De forma manual y visual se evaluó el volumen de precipitación registrado en cada





evento pluviográfico máximo anteriormente seleccionados para cada estación, en intervalos de 10 minutos a partir del instante en que se inicia el aguacero, hasta completar las 6 horas (360 minutos) de duración, reportando ceros "0" cuando el evento ya había finalizado totalmente y seleccionando posteriormente el dato o serie máxima de precipitación en cada evento .

A continuación se presentan las Tablas 2 y 3, producto del análisis en intervalos de 10 minutos de los pluviogramas seleccionados en uno de los evento máximos de precipitación por año, registrados en la Estación Santa Isabel (19/20-08-1973) y en la estación Cínera-Villa Olga (18/19-10-1978) respectivamente:

Tabla 2. Estación. Sta Isabel: Análisis del Evento 19/20- 09 -1973 - Intervalos: 10 min.

|         |       |       |       |       |        |
|---------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 19:10 i | 19:20 | 19:30 | 19:40 | 19:50 | 20:00  |
| 9.8*    | 20    | 11.9  | 3.5   | 1     | 1.6    |
| 20:10+  | 20:20 | 20:30 | 20:40 | 20:50 | 21:0+  |
| 0.3*    | 0.1   | 0.1   | 0     | 0.1   | 0.5*   |
| 21:10+  | 21:20 | 21:30 | 21:40 | 21:50 | 22:00  |
| 0.1*    | 0.1   | 0.3   | 0.3   | 0.1   | 0.1    |
| 22:10+  | 22:20 | 22:30 | 22:40 | 22:50 | 23:0+  |
| 0.1*    | 0     | 0     | 0     | 0.1   | 0*     |
| 23:10+  | 23:20 | 23:30 | 23:40 | 23:50 | 24:00  |
| 0*      | 0     | 0     | 0     | 0     | 0      |
| 24:10+  | 24:20 | 24:30 | 24:40 | 24:50 | 01:00+ |
| 0*      | 0.1   | 0.1   | 0.3   | 0.1   | 0.1*   |

(i) Hora de inicio del evento (\*) Vol llovido en cada intervalo (+) Hora en intervalos de 10 minutos

Tabla 3. Estación Cínera-Villa Olga Evento:

|        |       |       |       |       |        |
|--------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 19:00i | 19:10 | 19:20 | 19:30 | 19:40 | 19:50  |
| 0.1*   | 0.4   | 0     | 0     | 0     | 0      |
| 20:00+ | 20:10 | 20:20 | 20:30 | 20:40 | 20:50  |
| 0      | 0     | 0     | 0     | 1.    | 0.3    |
| 21:00+ | 21:10 | 21:20 | 21:30 | 21:40 | 21:50  |
| 0.1*   | 0.2   | 1.7   | 5.7   | 1.0   | 1.     |
| 22:00+ | 22:10 | 22:20 | 22:30 | 22:40 | 22:50  |
| 6.0    | 8.2   | 5.4   | 7.0   | 2.8   | 12.6*  |
| 23:00+ | 23:10 | 23:20 | 23:30 | 23:40 | 23:50  |
| 4.8    | 4.2   | 0.6   | 0.1   | 0.1   | 0      |
| 24:00+ | 00:10 | 00:20 | 00:30 | 00:40 | 00:50+ |
| 0*     | 0.1   | 0.1   | 0.3   | 0.1   | 0.1*   |

(i) Hora de inicio del evento (\*) Vol llovido en cada intervalo (+) Hora en intervalos de 10 minutos

Posteriormente se graficaron los eventos máximos seleccionados por año, para facilitar la interpretación y comparación de los datos obtenidos entre eventos. Las figuras 1 y 2 tienen en el eje "X" la escala de tiempo (07:00 a.m. hasta las 07:00 a.m. del siguiente día) y en el eje "Y" muestran los valores correspondientes a las alturas de precipitación (mm) o volumen llovido en cada intervalo.

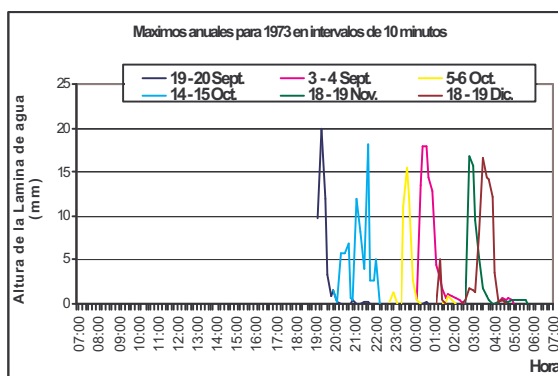


Figura 1. Eventos máximos Estación Santa Isabel (1973) en intervalos de 10 minutos

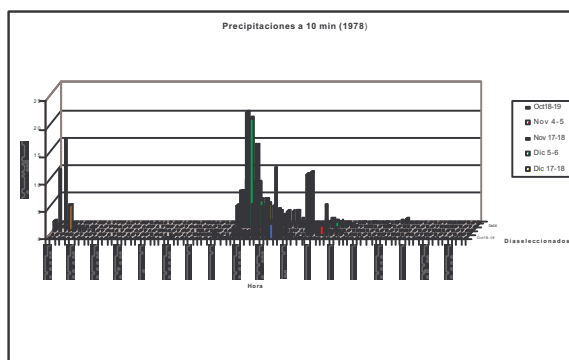


Figura 2. Eventos máximos Estación Cínera - Villa Olga (1978) en intervalos de 10 minutos

#### d) Determinación de volúmenes de precipitación para las diferentes duraciones

Cada uno de los eventos máximos seleccionados por año de cada estación, se procesaron en intervalos de 10 minutos y mediante sumatorias sucesivas se obtuvieron los volúmenes de precipitación registrados en 20, 30, 60, 120 y 360 minutos, correspondientes a las duraciones más frecuentes con las que se analizan los registros





pluviométricos internacionalmente, aclarando que resulto complicado analizar visualmente los datos en intervalos menores a 10 minutos por la posibilidad de errores de lectura y sesgos por el manejo de información.

El procedimiento realizado para obtener las sumatorias respectivas, se inicia con la suma del dato del primer intervalo de 10 minutos de la Tabla 2 (hora 19:10) con el dato del siguiente intervalo (hora 19:20) para obtener un nuevo valor correspondiente al primer intervalo de duración de 20 minutos, procedimiento que se continua hasta analizar todo el evento para la duración de 20 minutos; posteriormente se realiza de igual manera el procedimiento pero analizando el evento en intervalos de 30, 60, 120 y 360 minutos, en donde el dato para la duración de 360 minutos corresponde a la sumatoria total del evento (es decir un solo intervalo, de ahí la importancia de analizar el evento las 6 horas respectivas)

En la Tabla 4 se presentan las sumatorias para las duraciones de 20, 30, 60, 120 y 360 de los eventos sucedidos los días 18/19 -10-1978 en la estación Cínere-Villa Olga y los días 19/20-09-1973 en la estación Sta. Isabel.

Este procedimiento se repite en los eventos máximos de cada año y de cada estación para conformar la base de datos a procesar.

Tabla 4. Sumatoria para las duraciones de 20, 30, 60, 120 y 360 minutos

| DURACIÓN (Min) | 19/20 -09-1973 Est. Sta Isabel | DURACIÓN (Min) | 19/20 -09-1973 Est. Stana Isabel | DURACIÓN (Min) | 18/19-10-78 Est. Cínere | DURACIÓN (Min) | 18/19-10-78 Est. Cínere |
|----------------|--------------------------------|----------------|----------------------------------|----------------|-------------------------|----------------|-------------------------|
| 20             | 29.8                           | 30             | 41.7                             | 20             | 0.5                     | 30             | 0.5                     |
|                | 15.4                           |                | 6.1                              |                | 0                       |                | 0                       |
|                | 2.6                            |                | 0.5                              |                | 0                       |                | 0                       |
|                | 0.4                            |                | 0.6                              |                | 0                       |                | 1.5                     |
|                | 0.1                            |                | 0.5                              |                | 0                       |                | 2                       |

|  |     |     |      |  |      |     |      |
|--|-----|-----|------|--|------|-----|------|
|  | 0.6 |     | 0.5  |  | 1.5  |     | 7.8  |
|  | 0.2 |     | 0.1  |  | 0.3  |     | 19.6 |
|  | 0.6 |     | 0.1  |  | 7.4  |     | 22.4 |
|  | 0.2 |     | 0    |  | 2.1  |     | 9.6  |
|  | 0.1 |     | 0    |  | 14.2 |     | 0.2  |
|  | 0   |     | 0.2  |  | 12.4 |     | 0    |
|  | 0.1 |     | 0.5  |  | 15.4 |     | 0    |
|  | 0   | 60  | 47.8 |  | 9    | 60  | 0.5  |
|  | 0   |     | 1.1  |  | 0.7  |     | 1.5  |
|  | 0   |     | 1    |  | 0.1  |     | 9.8  |
|  | 0.1 |     | 0.2  |  | 0    |     | 42   |
|  | 0.4 |     | 0    |  | 0    |     | 9.8  |
|  | 0.2 |     | 0.7  |  | 0    |     | 0    |
|  |     | 120 | 48.9 |  |      | 120 | 2    |
|  |     |     | 1.2  |  |      |     | 51.8 |
|  |     |     | 0.7  |  |      |     | 9.8  |
|  |     | 360 | 50.8 |  |      | 360 | 63.6 |

#### e) Selección de los mayores datos obtenidos en cada evento de diferentes duraciones

De los registros obtenidos en el numeral anterior, se seleccionaron los mayores datos de cada evento por año y por estación, para las diferentes duraciones de 10, 20, 30, 60, 120 y 360 minutos (Tablas 5 y 6) de las Estaciones Sta Isabel (1973) y Cínere-Villa Olga (1978), base de datos requerida para la elaboraron las Figuras 3 y 4 , donde se graficó las serie de valores máximos por año para cada evento de acuerdo a las duraciones anteriormente seleccionadas, ubicando en el eje "X" las duraciones acumuladas para cada evento y en el eje "Y" los valores de volumen de lluvias o alturas de precipitación correspondientes a cada evento y duración respectiva.

Tabla 5 Mayores valores de precipitación para cada evento para cada duración, analizadas en la Estación Sta Isabel.(1973)

| Duración (Min) | 19 Sep | 03 Sep | 05 Oct | 14 Oct | 18 Nov | 18 Dic |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 10             | 20     | 17.8   | 15.5   | 18.1   | 16.8   | 16.6   |
| 20             | 29.8   | 35.6   | 26.6   | 20.6   | 32.4   | 31     |
| 30             | 41.7   | 44.9   | 26.7   | 24.5   | 30.5   | 40.7   |
| 60             | 47.8   | 76.6   | 28.2   | 45.1   | 47.5   | 66.6   |
| 120            | 48.9   | 88.5   | 43.4   | 65.6   | 51.3   | 71.3   |
| 360            | 50.8   | 93.7   | 45.2   | 73.2   | 54.9   | 81     |





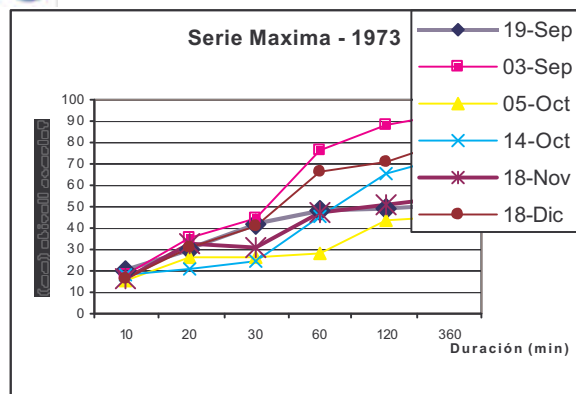


Figura 3. Serie de eventos máximos para el año 1973 Estación Sta Isabel.

Tabla 6 Mayores valores de precipitación para cada evento para cada duración, analizadas en la Estación Cínera-Villa Olga Año 1978

| Duración (Min) | 18 Oct | 04 Nov | 17 Nov | 05 Dic | 17 Dic |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 10             | 12.6   | 11.3   | 16.7   | 20.8   | 7.5    |
| 20             | 15.4   | 13     | 21.2   | 34.4   | 13.3   |
| 30             | 22.4   | 14.6   | 29.5   | 46.9   | 16.9   |
| 60             | 42     | 21.1   | 36     | 70.5   | 33     |
| 120            | 51.8   | 21.2   | 37.1   | 74.3   | 47.1   |
| 360            | 63.6   | 32.4   | 37.1   | 82.6   | 53.4   |

Figura 4. Serie de eventos máximos para el año 1978 Estación Cínera -Villa Olga

f) Elaboración de un cuadro resumen con las mayores alturas de precipitación para las diferentes duraciones por año

A partir de los datos obtenidos por el procedimiento anterior (serie de valores máximos hallados para cada evento de acuerdo a la duración), se elaboró para cada estación una tabla resumen de las mayores alturas de precipitación por año de acuerdo a su duración (Ver Tablas 7 y 8).

Tabla 7. Mayores alturas de precipitación para cada duración - Estación Sta Isabel

|      | ALTURAS DE PRECIPITACIÓN (mm) PARA CADA DURACIÓN (min) |      |      |      |       |       |
|------|--|------|------|------|-------|-------|
| AÑO  | 10   | 20   | 30   | 60   | 120   | 360   |
| 1973 | 20   | 35.6 | 44.9 | 76.6 | 88.5  | 93.7  |
| 1974 | 18.8   | 30.6 | 37.1 | 39.9 | 44.7  | 88.2  |
| 1975 | 20   | 32.4 | 47.2 | 63   | 73.8  | 127   |
| 1976 | 21.7   | 35.3 | 48.7 | 60.2 | 118.9 | 124.7 |
| 1977 | 15.1   | 26.6 | 29.6 | 40.3 | 41.9  | 46.2  |
| 1978 | 9.7  | 17.3 | 19.2 | 30.1 | 31.5  | 63    |
| 1979 | 19   | 32   | 31.4 | 43.3 | 48.2  | 70.7  |
| 1984 | 13.2   | 24.5 | 27.8 | 39   | 43.7  | 65.1  |
| 1985 | 21.2   | 42.3 | 52.1 | 88.7 | 115.4 | 192.2 |
| 1986 | 21.5   | 33.5 | 53.1 | 55.3 | 85.5  | 137.1 |
| 1987 | 17.4   | 26.2 | 40.8 | 67.6 | 87.2  | 135   |
| 1988 | 19.7   | 30   | 45.5 | 66.5 | 112.9 | 151.3 |
| 1989 | 29.1   | 30.8 | 45.7 | 51.7 | 59.1  | 65.2  |
| 1990 | 20.2   | 31.1 | 36.1 | 47.9 | 78.7  | 108.5 |
| 1991 | 24.7   | 38.3 | 37   | 66.4 | 71.1  | 74.2  |
| 1992 | 18.7   | 28.9 | 35.6 | 43.6 | 43.6  | 43.6  |
| 1993 | 26.2   | 39.4 | 50   | 70.8 | 82.4  | 83.1  |
| 1994 | 16.9   | 22.9 | 21.2 | 27.5 | 44.5  | 44.8  |

Tabla 8. Mayores alturas de precipitación para cada duración Estación Cínera-Villa Olga

|      | ALTURAS DE PRECIPITACIÓN (mm) PARA CADA DURACIÓN (min) |      |      |       |       |       |
|------|--|------|------|-------|-------|-------|
| AÑO  | 10   | 20   | 30   | 60    | 120   | 360   |
| 1978 | 20.8   | 34.4 | 46.9 | 70.5  | 74.3  | 82.6  |
| 1979 | 23.4   | 37.4 | 42.2 | 56.1  | 83.3  | 100   |
| 1980 | 18.2   | 32.6 | 47.5 | 62.8  | 65.3  | 76.9  |
| 1981 | 26   | 28.9 | 48.7 | 59.8  | 61.1  | 112.9 |
| 1982 | 17.1   | 30.1 | 35.5 | 54.5  | 56.9  | 64.3  |
| 1983 | 18.5   | 30.6 | 43.5 | 50.3  | 54.8  | 57.7  |
| 1984 | 16.6   | 27.2 | 29.4 | 47    | 68    | 79    |
| 1985 | 26.6   | 55   | 74.4 | 122.6 | 164   | 240   |
| 1986 | 17.8   | 33.2 | 43.6 | 56.1  | 59.7  | 64.6  |
| 1987 | 16.3   | 32.2 | 44.9 | 73.9  | 144.3 | 181.1 |
| 1988 | 20.6   | 32.9 | 48.3 | 60.1  | 93.3  | 94.3  |
| 1989 | 13.5   | 28.5 | 44   | 64.8  | 104.7 | 105.6 |
| 1990 | 117.7  | 35.3 | 44.1 | 83.1  | 98.9  | 98.9  |
| 1991 | 24.6   | 35.2 | 51.4 | 69.4  | 110.8 | 118.4 |
| 1992 | 18.8   | 27.5 | 36.2 | 52.3  | 84.9  | 86.3  |
| 1993 | 18.8   | 30.8 | 32.8 | 48.5  | 49    | 59.6  |
| 1994 | 20   | 33   | 40   | 50.3  | 84.1  | 98.9  |
| 1995 | 28.2   | 47.6 | 62.4 | 81.6  | 149.1 | 216.5 |
| 1996 | 18.6   | 27.9 | 46.4 | 64.8  | 90.7  | 92.4  |
| 1997 | 20   | 30.4 | 49.4 | 68.8  | 77.7  | 95.7  |
| 1998 | 27.2   | 36.1 | 52.9 | 63.3  | 125.5 | 151.5 |
| 1999 | 17.5   | 16.2 | 34.5 | 54.1  | 58.7  | 69.5  |
| 2000 | 18.6   | 28   | 29   | 49.7  | 88.5  | 100.9 |





Para analizar en el tiempo el comportamiento de las cantidades máximas seleccionadas se elaboraron las curvas (figuras 5 y 6) para cada estación durante el periodo de evaluación, para cada uno de los eventos analizados (10, 20, 30, 60, 120 y 360 minutos)

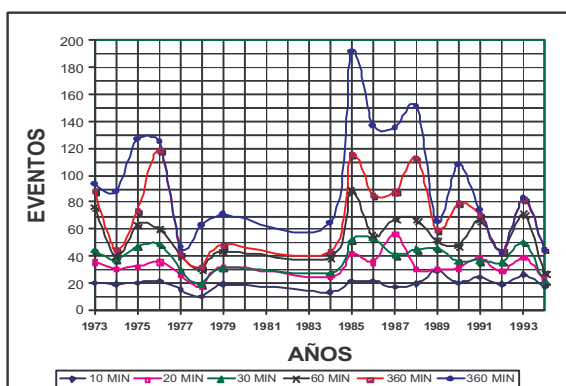


Figura 5: Valores máximos Estación Sta Isabel para eventos máximos anuales

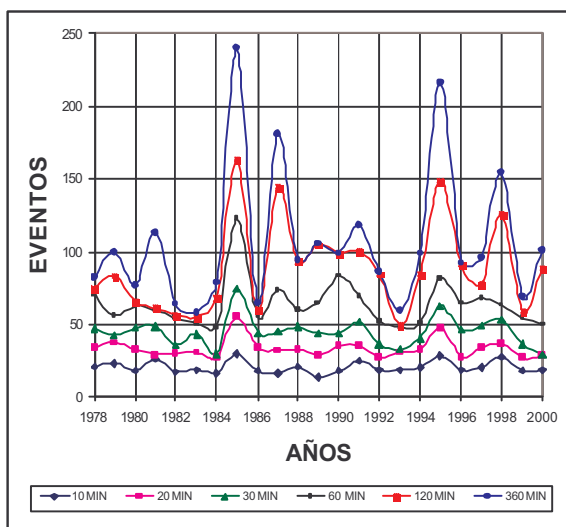


Figura 8: Valores máximos Estación Cínera-Villa Olga para eventos máximos anuales

Mediante la Ecuación 1 se determina la probabilidad de cada evento:

$$P(X^3X_m) = m/n+1 \quad (\text{Ecuación 1});$$

donde:

m = Posición del dato en la columna

n = No total de datos

Así, para el valor más alto de la tabla 7 en la columna de 10 minutos de 29.1 mm se tiene:

$$P = m/(n+1) \quad m: 1 \quad (\text{más alto}) \quad n: 18 \\ P = 1/19 = 0.053$$

Mientras para el valor más bajo de la columna de 10 minutos es de 9.7 mm se tiene:

$$P = m/(n+1) \quad m: 18 \quad y \quad n: 18 \\ P = 18/19 = 0.95$$

Lo anterior se comprueba que los eventos de mayor magnitud (29.1 mm) tienen menor probabilidad de presentarse (0.053), mientras los eventos de menor magnitud (9.7mm) se presentan con mayor probabilidad; por esta razón se ordenan los datos de las tabla 7 y 8 en forma descendente (tablas 9 y 10)

Tabla 9. Serie alturas de precipitación ordenadas en forma descendente Estación Sta Isabel.

| ALTURAS DE PRECIPITACIÓN (mm)<br>PARA CADA DURACIÓN (min) |      |      |      |       |       |
|---|------|------|------|-------|-------|
| 10  | 20   | 30   | 60   | 120   | 360   |
| 29.1  | 42.3 | 53.1 | 88,7 | 118.9 | 192.2 |
| 26.2  | 39.4 | 52.1 | 76,6 | 115.4 | 151.3 |
| 24.7  | 38.3 | 50   | 70,8 | 112.9 | 137.1 |
| 21.7  | 35.6 | 48.7 | 67,6 | 88.5  | 135   |
| 21.5  | 35.3 | 47.2 | 66,5 | 87.2  | 127   |
| 21.2  | 33.5 | 45.7 | 66,4 | 85.5  | 124.7 |
| 20.2  | 32.4 | 45.5 | 63   | 82.4  | 108.5 |
| 20  | 32   | 44.9 | 60,2 | 78.7  | 93.7  |
| 20  | 31.1 | 40.8 | 55,3 | 73.8  | 88.2  |
| 19.7  | 30.8 | 37.1 | 51,7 | 71.1  | 83.1  |
| 19  | 30.6 | 37   | 47,9 | 59.1  | 74.2  |
| 18.8  | 30   | 36.1 | 43,6 | 48.2  | 70.7  |
| 18.7  | 28.9 | 35.6 | 43,3 | 44.7  | 65.2  |
| 17.4  | 26.6 | 31.4 | 40,3 | 44.5  | 65.1  |
| 16.9  | 26.2 | 29.6 | 39,9 | 43.7  | 63    |
| 15.1  | 24.5 | 27.8 | 39   | 43.6  | 46.2  |
| 13.2  | 22.9 | 21.2 | 30,1 | 41.9  | 44.8  |
| 9.7   | 17.3 | 19.2 | 27,5 | 31.5  | 43.6  |





Tabla 10. Serie alturas de precipitación ordenadas en forma descendente Estación Cínera-Villa Olga.

| ALTURAS DE PRECIPITACIÓN (mm)<br>PARA CADA DURACIÓN (min) |      |      |       |       |       |
|---|------|------|-------|-------|-------|
| 10  | 20   | 30   | 60    | 120   | 360   |
| 29.6  | 55   | 74.4 | 122.6 | 164   | 240   |
| 28.2  | 47.6 | 62.4 | 83.1  | 149.1 | 126.5 |
| 27.2  | 37.4 | 52.4 | 81.6  | 144.3 | 181.1 |
| 26  | 36.1 | 51.4 | 73.9  | 125.5 | 151.5 |
| 24.6  | 35.3 | 49.4 | 70.5  | 110.8 | 118.4 |
| 23.4  | 35.2 | 48.7 | 69.4  | 104.7 | 112.9 |
| 20.8  | 34.4 | 48.3 | 68.8  | 98.9  | 105.6 |
| 20.6  | 34.4 | 47.5 | 64.8  | 93.3  | 100.9 |
| 20  | 33.2 | 46.9 | 64.8  | 90.7  | 98.9  |
| 20  | 33   | 46.4 | 63.3  | 88.5  | 98.9  |
| 18.8  | 32.9 | 44.9 | 62.8  | 84.9  | 98.9  |
| 18.8  | 32.6 | 44.1 | 60.1  | 84.1  | 95.7  |
| 18.6  | 32.2 | 44   | 59.8  | 83.3  | 94.3  |
| 18.6  | 30.8 | 43.6 | 56.1  | 77.4  | 92.4  |
| 18.5  | 30.6 | 43.5 | 56.1  | 77.4  | 92.4  |
| 18.2  | 30.1 | 42.2 | 54.5  | 68    | 82.6  |
| 17.8  | 28.9 | 40   | 54.1  | 67.3  | 79    |
| 17.7  | 28.5 | 36.2 | 52.3  | 61.1  | 76.9  |
| 17.5  | 28   | 35.5 | 50.3  | 52.7  | 69.5  |
| 17.1  | 27.9 | 34.5 | 50.3  | 58.7  | 64.6  |
| 17.6  | 27.5 | 32.8 | 49.7  | 56.9  | 64.3  |
| 16.3  | 27.2 | 29.4 | 48.5  | 54.8  | 59.6  |
| 13.5  | 26.6 | 29   | 47    | 49    | 57.7  |

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis Estadístico de datos: Mediante análisis se determinaron las medidas de tendencia central de los datos procesados obteniéndose: Media, Mediana y Moda para cada duración; de igual manera se determinaron las medidas de dispersión estadísticas típicas para las series de los mayores valores de excedencia anual, tales como la Desviación Estándar y la Varianza, así como los Coeficientes de Variación, Asimetría y de Curtosis con el fin de interpretar factores como la variabilidad de la muestra, el comportamiento de la tendencia y el sesgo determinado en cada una de las series estudiada (Ver Tablas 11 y 12)

Tabla 11. Parámetros estadísticos, determinados para la muestra o serie de excedencia anual de la Estación Santa Isabel.(1973 -1994)

| Estadístico         | DURACIÓN (Min) |        |        |        |        |        |
|---------------------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                     | 10             | 20     | 30     | 60     | 120    | 360    |
| Media               | 19.61          | 30.98  | 39.06  | 54.355 | 70.64  | 95.2   |
| Mediana             | 19.85          | 30.95  | 38.95  | 53.5   | 72.45  | 85.65  |
| Moda                | 20*            | 17.3*  | 19.2*  | 39*    | 31.5*  | 43.6*  |
| Desviación Estándar | 5.0            | 6.1547 | 10.25  | 6.7350 | 27.60  | 41.755 |
| Varianza            | 20.25          | 37.88  | 105.05 | 280.06 | 761.98 | 1743.5 |
| Asimetría           | -0.054         | -0.264 | -0.481 | 0.236  | 0.38   | 0.717  |
| C. Variación        | 0.229          | 0.199  | 0.262  | 0.308  | 0.39   | 0.439  |
| C. Curtosis         | 0.994          | 0.309  | -0.689 | -0.594 | -0.99  | -0.071 |
| Máximo              | 29.1           | 42.3   | 53.1   | 88.7   | 118.9  | 192.2  |
| Mínimo              | 9.7            | 17.3   | 19.2   | 39     | 31.5   | 43.6   |

(\*)El menor de los valores de la 5 modas.

#### Estación Santa Isabel.

De los datos estadísticos de la tabla No 11 se deduce lo siguiente

**Duración 10 minutos:** Distribución sesgada ligeramente hacia la izquierda (-) (Media < Mediana), con distribución asimétrica negativa como lo muestra el valor del coeficiente de asimetría, mientras que el coeficiente de Curtosis > 0 indica distribución leptocúrtica y del valor del Coeficiente de variación se puede deducir que los datos siguen una distribución homogénea, es decir que se considera que la Media es representativa de los datos, esto lo confirman los bajos valores la Varianza y de la Desviación Estándar

**Duración 20 minutos:** Presenta distribución con sesgo mínimo hacia la derecha (+) (Media > Mediana), con distribución asimétrica negativa como lo muestra el valor del coeficiente de asimetría y el coeficiente de Curtosis > 0 determina una distribución leptocúrtica y el Coeficiente de variación determina una distribución homogénea, considerando que la Media es una buena representación de los datos, de igual manera esto se puede comprobar con las medidas de dispersión (Varianza y Desviación Estándar) son comparativamente bajas.







**Duración 30 minutos:** Distribución sesgada (Media > Mediana) hacia la derecha(+), con distribución asimétrica positiva y el coeficiente de la Curtosis < 0 indica que la curva tiene distribución platocúrtica; además del Coeficiente de variación se deduce que los datos se encuentran homogéneamente distribuidos y la Desviación Estándar indica que la Media continúa siendo una buena representación de los datos, a pesar de que los valores de las medidas de dispersión (Varianza y Desviación Estándar) han aumentado, sus valores, pero continúan siendo comparativamente bajos.

**Duración 60 minutos:** Distribución sesgada hacia la derecha (+) (Media a la derecha de la Mediana), con distribución asimétrica positiva, platocúrtica y homogénea de datos, siendo la Media una buena representación de los datos, a pesar que los valores de las medidas de dispersión halladas (Varianza y Desviación Estándar) han aumentado sus valores, pero continúan siendo comparativamente bajos.

**Duración 120 minutos:** Se observó sesgo hacia la izquierda(-) (Media < Mediana), con distribución asimétrica positiva, platocúrtica y homogénea pero menor que en las duraciones de 10, 20, 30 y 60 minutos y para este caso la Media no es una medida de tendencia central que represente idealmente los datos de la distribución, ya que los valores de dispersión (Varianza y Desviación Estándar) han aumentado de manera progresiva, lo que indica la baja confiabilidad en la Media aritmética.

**Duración 360 minutos:** Como la Media, la Moda y la Mediana varían entre si (Media > Mediana) se infiere distribución sesgada a la derecha(+), mayor que los sesgos de las duraciones de 10, 20, 30, 60 y 120 minutos (alta diferencia entre los valores de la Media y la Mediana) indicando distribución asimétrica positiva y platocúrtica de grado mínimo, ya que su valor es muy cercano a cero con tendencia hacia la distribución mesocúrtica

Del Coeficiente de variación se puede deducir que los datos no se están homogéneamente distribuidos y que la Media no es una medida de tendencia central de la distribución, ya que los valores de las medidas de dispersión son comparativamente altos (Varianza y Desviación Estándar), lo que indica baja confiabilidad en la Media aritmética.

### Estación Cínera - Villa Olga.

Tabla 12. Parámetros estadísticos, determinados para la muestra o serie de excedencia anual de la Estación Cínera - Villa Olga.(1978-2000)

| Estadístico         | DURACIÓN |       |       |       |         |         |
|---------------------|----------|-------|-------|-------|---------|---------|
|                     | 10       | 20    | 30    | 60    | 120     | 360     |
| Media               | 20.40    | 33.31 | 44.69 | 63.67 | 89.01   | 106.41  |
| Mediana             | 18.8     | 32.6  | 44.1  | 61.45 | 84.10   | 95.7    |
| Moda                | 18.6*    | 33.2* | 28.9* | 50.3* | 49*     | 98.9*   |
| Desviación Estándar | 4.16     | 6.57  | 10.21 | 16.36 | 31.8    | 47.9    |
| Varianza            | 17.38    | 43.23 | 104.2 | 267.9 | 1011.38 | 2293.05 |
| Asimetría           | 0.89     | 2.08  | 0.98  | 2.26  | 0.97    | 1.67    |
| C.Variació          | 0.20     | 0.2   | 0.2   | 0.2   | 0.30    | 0.4     |
| C.Curtosis          | 0.36     | 5.18  | 2.29  | 7.02  | 0.27    | 2.46    |
| Máximo              | 13.5     | 26.6  | 28.9  | 47    | 49      | 57.7    |
| Mínimo              | 29.6     | 55    | 74.4  | 122.6 | 164     | 240     |

(\*)El menor de los valores de la 5 modas

De los datos estadísticos de la tabla No 12 se deduce lo siguiente

**Duración 10 minutos:** Distribución sesgada ligeramente hacia la derecha (+) (Media > Mediana), con distribución asimétrica positiva, leptocúrtica y homogénea, y se considera que la Media es representativa de los datos, situación que lo confirman los bajos valores la Varianza y de la Desviación Estándar

**Duración 20 minutos:** Presenta distribución con sesgo mínimo hacia la derecha (+) (Media > Mediana), con distribución asimétrica positiva como lo muestra el valor del coeficiente de asimetría.

La Curtosis de la distribución es > 0 indicando distribución es leptocúrtica y el Coeficiente de variación indica que los datos





siguen una distribución homogénea, considerando que la Media es una buena representación de los datos, hecho que lo confirman los bajos valores de las medidas de dispersión (Varianza y Desviación Estándar)

**Duración 30 minutos:** Distribución ligeramente hacia la derecha (Media > Mediana), con ligera distribución asimétrica positiva, leptocúrtica; además del Coeficiente de variación encuentra homogeneidad en la distribución y la Desviación Estándar indica que la Media aún es representativa de los datos, a pesar de que los valores de las medidas de dispersión (Varianza y Desviación Estándar) han aumentado, sus valores, pero continúan siendo comparativamente bajos.

**Duración 60 minutos:** Distribución sesgada hacia la derecha (+) (Media > Mediana), con distribución asimétrica positiva, leptocúrtica y homogénea, siendo la Media una aceptable representación de los datos, a pesar que los valores de las medidas de dispersión halladas (Varianza y Desviación Estándar) han aumentado sus valores, pero continúan siendo comparativamente bajos.

**Duración 120 minutos:** Se observó sesgo apreciable hacia la derecha (Media > Mediana), con distribución asimétrica platicúrtica y homogénea pero menor que en las duraciones de 10, 20, 30 y 60 minutos y la Media no es una medida de tendencia central que represente idealmente los datos de la distribución, ya que los valores de dispersión son altos (Varianza y Desviación Estándar), lo que indica la baja confiabilidad en la Media aritmética.

**Duración 360 minutos:** Como la Media > Mediana, la distribución es muy sesgada a la derecha (+), mayor que los sesgos de las duraciones de 10, 20, 30, 60 y 120 minutos, con distribución asimétrica y platicúrtica. Del Coeficiente de variación se puede deducir que los datos no se están homogéneamente distribuidos y que la Media no es una medida de tendencia central de la distribución, ya que

los valores de las medidas de dispersión son comparativamente altos (Varianza y Desviación Estándar), indicando baja confiabilidad en la Media aritmética.

#### 4.2 Selección del tipo de distribución de probabilidad a aplicar.

Se seleccionó el tipo de distribución de probabilidad a utilizar para la serie de excedencia anual; en este proyecto se trabajó con la distribución Gumbel o de Valor Extremo Tipo I, recomendado por el RAS 2000 porque resulta ser eficiente para la elaboración de curvas IDF y se ajusta los datos de la mejor manera

El modelo de distribución de probabilidad Gumbel es el mostrado en la ecuación 2 :

$$f(x) = (1/\alpha) \exp \left\{ - \frac{x-\mu}{\alpha} - \exp \left( - \frac{x-\mu}{\alpha} \right) \right\}$$

Cuyas ecuaciones están dadas por

$$\sigma = \sqrt{6 * Sx / \pi} \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$\mu = X - 0.5772 * \sigma \quad (\text{Ecuación 4})$$

De esta manera se hallaron los respectivos valores de "s" y "m", los cuales indican el valor de la Desviación Estándar poblacional y la Media poblacional respectivamente. Los datos de las ecuaciones de los parámetros en términos de los momentos de la muestra, se presentan en las Tabla 13 y 14 .

Tabla 13. Valores de los parámetros en términos de los momentos de la muestra, para cada duración específica Estación Santa Isabel

| VALOR    | DURACIÓN (Min) |       |       |        |       |       |
|----------|----------------|-------|-------|--------|-------|-------|
|          | 10             | 20    | 30    | 60     | 120   | 360   |
| $\sigma$ | 3.51           | 4.80  | 7.99  | 13.048 | 21.52 | 32.56 |
| $\mu$    | 17.59          | 28.21 | 34.44 | 46.824 | 58.22 | 76.41 |





Tabla 14. Valores de los parámetros en términos de los momentos de la muestra, para cada duración específica. Estación. Cínera - Villa Olga

| VALOR    | DURACIÓN (Min) |       |       |        |       |       |
|----------|----------------|-------|-------|--------|-------|-------|
|          | 10             | 20    | 30    | 60     | 120   | 360   |
| $\sigma$ | 3.179          | 5.014 | 7.778 | 12.481 | 2.03  | 35.51 |
| $\mu$    | 18.53          | 30.38 | 40.21 | 56.465 | 74.57 | 85.34 |

Para determinar los valores de XT para varios

g) Selección de los periodos de retorno. Los periodo de retorno se seleccionaron siguiendo las recomendaciones del RAS 2000, periodos de 2, 3, 5, 10, 25, 50 y 100 años que son los valores típicos que se adaptan a las necesidades del usuario para los diferentes proyectos.

Con los periodos de retorno seleccionados y sustituyendo en la ecuación 5, se obtienen las variable reducidas YT, la cual esta en función del periodo de retorno (Tr) y relaciona la variable XT (Magnitud del evento máximo) con la función de distribución de probabilidad Gumbel o del Valor Extremo tipo I.

$$YT = -\ln \ln(Tr / T-1) \text{ y } \text{ (Ecuación 5)}$$

Así la probabilidad de que un periodo de retorno para 2 años se presente es :  $YT = -\ln [\ln (2/3- 1)] = 0.366$

Los valores de la variable YT para cada periodo de retorno respectivo, se muestra en la Tabla 15

Tabla 15: YT (Variable Reducida para diferentes periodos de retorno)

| Tr(años) | Y <sub>T</sub> |
|----------|----------------|
| 2        | 0.367          |
| 3        | 0.903          |
| 5        | 1.5            |
| 10       | 2.25           |
| 25       | 3.199          |
| 50       | 3.901          |
| 100      | 4.6            |

Como YT es una variable reducida que esta en función del periodo de retorno, esto significa que el resultado de YT es la probabilidad de que un evento se presente dependiendo del periodo de retorno y XT esta en función de la intensidad

h) Determinación de la magnitud del evento máximo XT. Se trabajó con los mismos periodos de retorno (Tr) seleccionados para la serie de excedencia anual, por lo tanto se obtienen los valores de la variable YT de la Tabla 15, y se determinan los XT o magnitudes máximas para cada duración, sustituyendo junto con las variables "s" y "m" en la ecuación 6, para obtener las alturas de precipitación máximas para cada periodo de retorno de acuerdo a su duración

$$XT = m + sYT \text{ (Ecuación 6)}$$

Así para la altura de precipitación (mm) de la estación Santa Isabel para un periodo de retorno de 2 años y una duración de 10 minutos se obtiene:

$$XT = 17.59 + (3.51 * 0.367) = 18.878$$

Este es el valor máximo esperado para el Periodo de retorno de 2 años y una duración de 10 minutos. Los valores de XT, hallados para cada duración en la estación Santa Isabel se encuentran en la Tabla 16 y los de la Estación Cínera -Villa Olga en la tabla 17

Tabla 16. Valores máximos de precipitación(mm) presentados en la Serie Máxima anual para las diferentes duraciones de acuerdo al periodo de retorno en la Estación Santa Isabel

| Tr años | 10'   | 20'   | 30'   | 60'    | 120'   | 360'   |
|---------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 2       | 18.88 | 29.97 | 37.37 | 51.61  | 66.12  | 88.36  |
| 3       | 20.76 | 32.55 | 41.66 | 58.61  | 77.65  | 105.81 |
| 5       | 22.85 | 35.41 | 46.43 | 66.4   | 90.50  | 125.25 |
| 10      | 25.49 | 39.01 | 52.42 | 76.18  | 106.64 | 149.67 |
| 25      | 28.82 | 43.56 | 60.01 | 88.57  | 127.06 | 180.57 |
| 50      | 31.28 | 46.93 | 65.62 | 97.72  | 142.17 | 203.43 |
| 100     | 33.73 | 50.29 | 71.20 | 106.85 | 157.21 | 226.19 |





Tabla 17. Valores máximos de precipitación(mm) presentados en la Serie Máxima anual para las diferentes duraciones de acuerdo al periodo de retorno en la Estación Cínera - Villa Olga.

| Tr<br>(años) | 10'   | 20'   | 30'   | 60'    | 120'   | 360'   |
|--------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 2            | 19.69 | 32.21 | 43.07 | 61.03  | 83.77  | 98.7   |
| 3            | 21.39 | 34.90 | 43.07 | 67.72  | 97.14  | 118.27 |
| 5            | 23.29 | 37.89 | 47.22 | 75.17  | 112.08 | 140.07 |
| 10           | 25.68 | 41.66 | 57.70 | 84.54  | 130.88 | 167.49 |
| 25           | 28.69 | 46.41 | 65.08 | 96.37  | 146.61 | 202.11 |
| 50           | 30.93 | 49.94 | 70.54 | 105.15 | 172.2  | 227.78 |
| 100          | 33.15 | 53.44 | 75.98 | 113.87 | 189.7  | 253.3  |

Debido a que los datos de las tablas 16 y 17, las unidades de Volumen se encuentran en milímetros, se convierten en unidades de intensidad (mm/h) (Tablas 18 y 19)

Si el registro de precipitación en la estación Santa Isabel para una duración de 10 minutos y un Tr de 2 años de 18.88 mm, entonces se aplica:

$$18.88 \text{ mm} \text{ ----- } 10 \text{ minutos}$$

$$X \text{ ----- } 60 \text{ minutos}$$

$$X = (18.88 \text{ mm} \cdot 60 \text{ min}) / 10 \text{ min} = 113.28 \text{ mm/h}$$

Lo anterior equivale a decir que si hubieran continuado cayendo 18.88 mm cada 10 minutos en la hora hubiera llovido 113.28 mm.

Tabla 18. Valores en mm/hora para cada duración de acuerdo al periodo de retorno Estación Santa Isabel

| Tr<br>años | 10'    | 20'    | 30'    | 60'    | 120'  | 360'  |
|------------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|
| 2          | 113.28 | 89.91  | 74.74  | 51.61  | 33.06 | 14.73 |
| 3          | 124.56 | 97.65  | 83.32  | 58.61  | 38.83 | 17.64 |
| 5          | 137.1  | 106.23 | 92.86  | 66.4   | 45.25 | 20.88 |
| 10         | 152.94 | 117.03 | 104.84 | 76.18  | 53.32 | 24.95 |
| 25         | 172.92 | 130.68 | 120.0  | 88.57  | 63.53 | 30.1  |
| 50         | 187.68 | 140.79 | 131.22 | 97.72  | 71.09 | 33.91 |
| 100        | 202.38 | 150.87 | 142.4  | 106.85 | 78.61 | 37.7  |

Tabla 19. Valores en mm/hora para cada duración de acuerdo al periodo de retorno Estación Cínera Villa Olga

| Tr<br>años | 10'    | 20'    | 30'    | 60'    | 120'  | 360'  |
|------------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|
| 2          | 118.15 | 96.65  | 86.14  | 61.03  | 41.86 | 16.45 |
| 3          | 128.38 | 104.71 | 94.44  | 67.72  | 48.57 | 19.71 |
| 5          | 139.77 | 113.69 | 103.73 | 75.17  | 56.04 | 23.34 |
| 10         | 154.09 | 124.99 | 115.41 | 84.54  | 65.44 | 27.91 |
| 25         | 172.17 | 139.25 | 130.16 | 96.37  | 77.30 | 33.68 |
| 50         | 185.58 | 149.82 | 141.09 | 105.15 | 86.10 | 37.96 |
| 100        | 198.91 | 160.34 | 151.96 | 113.87 | 94.85 | 42.21 |

j) Elaboración de la curva IDF mediante el método del valor extremo con análisis de frecuencias para la serie Máxima anual.

Los datos de las dos tablas anteriores se ordenaron con el objetivo de poder elaborar los diagrama de dispersión de la curva IDF para las dos estaciones en estudio, donde las Intensidades se presentan en el eje "Y" (mm/h) y las Duraciones (min) en el eje "X" (Tabla 20 y 21), en donde cada curva representa un periodo de retorno diferente (Ver Figuras 9 y 10).

Tabla 20. Datos de intensidades máximas para las duraciones típicas y respectivos periodos de retorno Tr, de la Curva IDF para la Estación Santa Isabel con la Serie Máxima Anual.

| Estación : 1601504 CO – SANTA ISABEL  |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Número de años analizados : 18        |       |       |       |       |       |       |       |
| Número de eventos promedio por año: 5 |       |       |       |       |       |       |       |
| PERIODO DE RETORNO, años              |       |       |       |       |       |       |       |
| Min                                   | 2     | 3     | 5     | 10    | 25    | 50    | 100   |
| 10                                    | 113.3 | 124.6 | 137.1 | 152.9 | 172.9 | 187.7 | 202.4 |
| 20                                    | 89.9  | 97.7  | 106.2 | 117.0 | 130.7 | 140.8 | 150.9 |
| 30                                    | 74.7  | 83.3  | 92.9  | 104.8 | 120.0 | 131.2 | 142.4 |
| 60                                    | 51.6  | 58.6  | 66.4  | 76.2  | 88.6  | 97.7  | 106.8 |
| 120                                   | 33.1  | 38.8  | 45.3  | 53.3  | 63.5  | 71.1  | 78.6  |
| 360                                   | 14.7  | 17.6  | 20.9  | 25.0  | 30.1  | 33.9  | 37.7  |





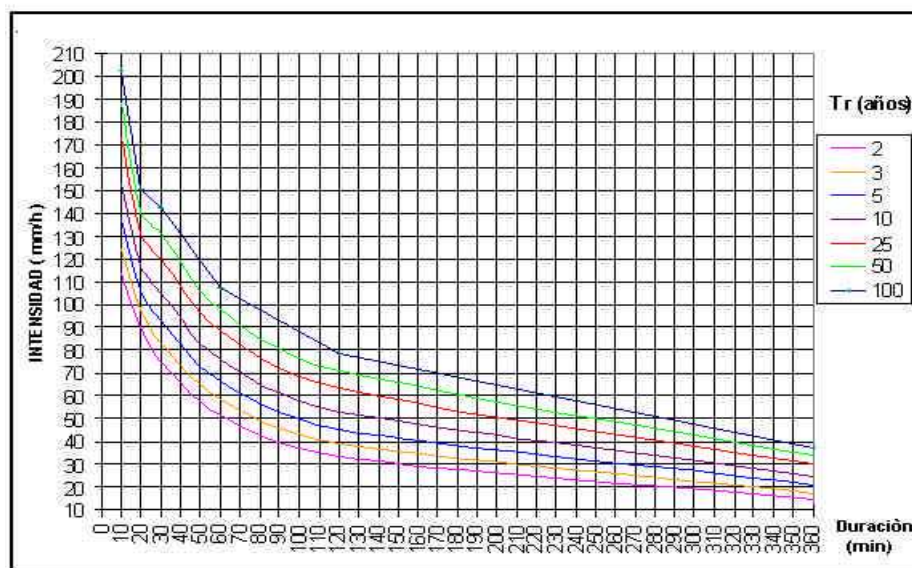


Figura 9: Curva IDF- Estación Santa Isabel

Tabla 20. Datos de intensidades máximas para las duraciones típicas y respectivos periodos de retorno  $T_r$ , de la Curva IDF para la Estación Cínere-Villa Olga con la Serie Máxima Anual

|                                       |        |        |        |        |        |        |        |
|---------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Estación : 1602504 CO- CINERA-V. OLGA |        |        |        |        |        |        |        |
| Número de años analizados : 23        |        |        |        |        |        |        |        |
| Número de eventos promedio por año: 5 |        |        |        |        |        |        |        |
| PERIODO DE RETORNO, años              |        |        |        |        |        |        |        |
| Min                                   | 2      | 3      | 5      | 10     | 25     | 50     | 100    |
| 10                                    | 118.15 | 128.38 | 139.77 | 154.09 | 172.17 | 185.58 | 198.91 |
| 20                                    | 96.65  | 104.71 | 113.69 | 124.99 | 139.25 | 149.82 | 160.34 |
| 30                                    | 86.14  | 94.44  | 103.73 | 115.41 | 130.16 | 141.09 | 151.96 |
| 60                                    | 61.03  | 67.72  | 75.17  | 84.54  | 96.37  | 105.15 | 113.87 |
| 120                                   | 41.86  | 48.57  | 56.04  | 65.44  | 77.30  | 86.10  | 94.85  |
| 360                                   | 16.45  | 19.71  | 23.34  | 27.91  | 33.68  | 37.96  | 42.21  |

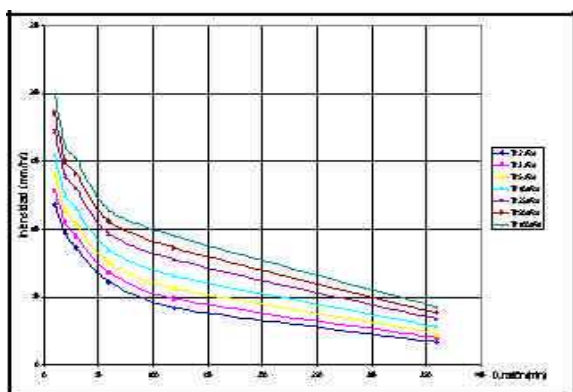


Figura 10: Curva IDF- Estación Cínere- Villa Olga

## 5. CONCLUSIONES

Las curvas IDF para las estaciones Cínere-Villa Olga y Santa Isabel se realizaron con los datos recolectados, almacenados y suministrados por el IDEAM y procesados por la Universidad de Pamplona, curvas típicas con característica pluviométricas propias de cada estación y del área de influencia.

Para el IDEAM y para Norte de Santander es de gran importancia que se haya elaborado las curva IDF para las estaciones Cínere - Villa Olga y Santa Isabel porque solo el 20% de las estaciones que existen en el Dpto. tienen elaboradas estas curvas y además porque se genera mayor información acerca del comportamiento de las precipitaciones en función de la intensidad media, la duración y la frecuencia, lo que permite que los patrones de conducta de la precipitaciones, sean usados (RAS 2000) con seguridad en proyectos para diseños confiables y efectivos (infraestructura vial, obras hidráulicas, proyectos de drenaje, estructuras de control de avenidas, programación de cultivos y riego etc) cuyo nivel de complejidad sea de alto grado, siempre que la obra se desarrolle dentro de las áreas de influencia de las estaciones como los







corregimientos de Agua Clara, San Faustino, La Floresta y sectores de la parte baja del río Pamplonita y sitios que corresponde a los, lugares que se ven muy afectados por eventos de gran magnitud, situación que redundará en un gran beneficio social para la región.

Sin embargo los datos de intensidad máxima para cierto periodo de retorno ( $T_r$ ) obtenidos de las curvas IDF pueden ser usados para proyectos en áreas regionales cercanas, mediante extrapolación de datos y corrección de valores de intensidad por un factor de reducción, pues a mayor área de influencia, la Intensidad media de la precipitación disminuye.

Las curvas IDF las estaciones Cínera - Villa Olga y Santa Isabel son de gran importancia para las áreas de influencia de la misma, porque permite pronosticar los periodo de retorno de lluvias y por ende toman medidas preventivas, evitando daños, sobre costos y perjuicios en proyectos a desarrollar.

De acuerdo al análisis gráfico de los eventos de precipitación de la estación Santa Isabel, en intervalos de 10 minutos se observó que los eventos de gran magnitud se presentan entre las 4: 00 p.m. y las 7:00 a.m y en la estación Cínera - Villa Olga entre las 6:00 p.m. hasta 6:00 a.m., esto debido a factores meteorológicos, por lo que es conveniente tener en cuenta este comportamiento de los eventos de gran magnitud para realizar estudios de riesgo y vulnerabilidad.

Del análisis y procesamiento de la información se dedujo que en el área de influencia de las estaciones estudiadas los meses mas lluviosos son octubre, noviembre y diciembre; igualmente se concluye que los eventos que presentan poca intensidad y larga duración son mucho más frecuentes, registrando más altos volúmenes de precipitación que los eventos más severos que son menos frecuentes y de corta duración y los efectos que producen son mucho más representativo.

En general el coeficiente de variación de los datos es pequeño, debido a esta característica los datos no son tan dispersos y son mas homogéneos. Además en la elaboración de las curvas IDF con la serie de Excedencia Anual ("n" valores máximos por año) y la Serie de Máximos Anuales (un valor máximo por año) permitió observar la distribución presenta sesgo positivo (hacia la derecha) y el sesgo no se debe al submuestreo porque de ser cierto la serie de Máximos anuales (en la que no se realiza un submuestreo) no debería presentar un sesgo estadístico importante, luego se concluye que el sesgo se presenta independientemente si se realiza o no un submuestreo en el análisis de los datos y este se presenta en la distribución básicamente por el registro de valores extremos y altos.

El análisis de los eventos precipitación en intervalos de 10 minutos permitió observar con un mayor detalle el comportamiento de cada evento respecto al tiempo, de esta manera, se observó que la zona de estudio no se vio afectada por eventos como el Fenómeno Cálido del Pacífico "Fenómeno del Niño" y el Fenómeno Frío del Pacífico o "Fenómeno de la Niña"; ya que para 1979 cuando según los registros históricos se presentó el Fenómeno del Niño, en la zona de estudio se altera el régimen de precipitaciones causando una época de sequía y se presentan eventos de mayor magnitud que los ocurridos para el año en el que se presentó el Fenómeno de la Niña y en el cual los volúmenes de precipitación respecto al tiempo fueron de menor magnitud. De acuerdo a lo anterior, se deduce que la presencia de estos fenómenos no influyó notoriamente en la magnitud de los eventos de precipitación; sin embargo, sí alteran los periodos normales del régimen de precipitaciones, porque el Fenómeno del Niño registro reducción en el número de días lluviosos y durante el Fenómeno de la Niña aumento los días en los cuales se presentan precipitaciones, independientemente de la magnitud de los eventos.





Finalmente se concluye que la ausencia de los datos en la estación Santa Isabel correspondientes a los años de 1980 a 1983, no afectó notablemente la distribución de los años en que si hubo registro, pues en el

tratamiento estadístico que se le aplica a los datos, el año en que se presenta el evento no es una variable analizada, sin embargo el tamaño de la muestra influye directamente en la confiabilidad de los resultados y en la confiabilidad de la curva IDF.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHOW, Ven Te; MAIDMENT, David y WAYS, Larry. . Hidrología Aplicada. Ed. Mac Graw Hill, Interamericana. Santa Fé de Bogotá, Colombia 1994.
- GUMBEL E.J." Statistics of Extremes" Columbia University Press. New York,198
- GERARD, Kiely. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión, Vol. I España.1999.Ed Mac Graw-Hill.
- HENAO S. Jesús. Introducción al Manejo de Cuencas Hidrográficas. Universidad Santo Tomás. 1988. Santa fé de Bogotá.
- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM), Manual del Observador Meteorológico, Medellín, 2001.
- LOPEZ LAMBRANO, Alvaro Alberto. Elaboración de las curvas de Intensidad- Duración- Frecuencia de la lluvia en las estaciones pluviográficas aeropuerto los Garzones, Universidad de Córdoba y Turipana, localizadas en la cuenca media del río Sinú. Montería, 2001, 82 p. Trabajo de grado (Ingeniero Civil) Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Ingeniería Civil.
- MARTINEZ GUEVARA, Adriana C. Manejo de la Información Hidrometeorológica del IDEAM y elaboración de una curva IDF con datos obtenidos de la Estación Cinera - Villa Olga del Municipio de Cúcuta. Universidad de Pamplona Informe de Pasantía. 2006.
- MATAJIRA SÁNCHEZ, Franky Fabián. Sistematización, suministro de información hidrometeorologica del IDEAM y manejo de datos de precipitación para la elaboración de la curva IDF en la estación Santa Isabel - Municipio de Cúcuta. Universidad de Pamplona Informe de Pasantía. 2006.
- MONTEALEGRE, José Edgar. Técnicas Estadísticas Aplicadas en el Manejo de Datos Hidrológicos y Meteorológicos. Bogotá. HIMAT, 1990. 45 p.
- PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL, Municipio de San José de Cúcuta. Diagnóstico componente rural.
- RAMIREZ, Argemiro. Propuesta de un Modelo Hidrogeológico Conceptual a partir de la Caracterización de la Subcuenca del Río Pamplonita. Santa Fe de Bogotá. IDEAM, 1999





## INNOVATIVE ALTERNATIVE OF LOW COST TO PURIFY WATERWASTER IN COUNTRIES IN VIA OF DEVELOPMENT

### HUMEDAR I: ALTERNATIVA INNOVADORA DE BAJO COSTO PARA DEPURAR AGUAS RESIDUALES EN PAISES EN VIA DE DESARROLLO

**Dr. Ing. Otoniel Alfonso Sanabria Artunduaga**

Ingeniero Civil, Especialista en Arquitectura Bioclimática y Construcción Sostenible, Magíster en Ingeniería Ambiental y Doctor en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos en Ingeniería Ambiental. Profesor Investigador. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, Universidad Nacional de Colombia

**Abstract:** It has been designed and investigated to laboratory scale and later on several models have been built to real scale in diverse communities and human establishments in Colombia, a prototype of simple and efficient configuration for the treatment of wastewater called HUMEDAR - I® whose configuration involves an anaerobic reactor of parallel compartments of piston flow (RACFP), followed by an high rate constructed wetland conformed by native and common macrophytes that grow up supported on plastic recycled media with a special design of approx.  $300 \text{ m}^2/\text{m}^3$  of specific surface. This outline has shown advantages regarding similar processes as for cost and achievement of the prospective efficiencies for the purification of the pollutants. HUMEDAR - I® doesn't require routine neither continuous maintenance, it doesn't consume electric power neither demand specialized personnel for its operation and it can be used in small populations, agroindustrial and similar industries, camps, populations' neighbourhoods, slaughterhouses and similar facilities that pour equivalent applied organic loads to those generated in communities of up to 5000 inhabitants, for each built unit. The investigations results show that HUMEDAR - I® achieves the required purification of the present pollutants in the domestic wastewaters beyond the levels demanded by the Colombian normative (80% in organic load). Efficiency values have been obtained from 92 to 95% in removal of  $\text{BOD}_5$  and SS, 74 to 79% in nutrients (N and P) and up to four coliforms logarithmic magnitude orders in the systems to real scale with 18 hours of total hydraulic retention time of continuous flow. The used effective area corresponds to the range from 0.1 to  $0.47 \text{ m}^2$  per eq-inhabitant depending on the assisted population, what supposes a decrease of at least 90% or bigger regarding the typical demand of land used with conventional systems of constructed wetlands ( $5$  to  $12 \text{ m}^2$  per Eq-inhabitant) being constituted in an excellent alternative to purify the wastewaters in countries in way of development and particularly in Latin America and the Caribbean region.

**Resumen:** Se ha diseñado e investigado a escala de laboratorio y posteriormente se han construido varios modelos a escala real en diversas comunidades y asentamientos humanos en Colombia, un prototipo de configuración simple y eficiente para el tratamiento de aguas residuales domésticas denominado HUMEDAR - I® cuya configuración involucra un reactor anaerobio de compartimientos paralelos de flujo de pistón (RACFP), seguido de un humedal artificial de alta tasa conformado por macrofitas nativas y comunes soportadas sobre medios de soporte plástico reciclado con un diseño

